

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号
特開2002-90275
(P2002-90275A)

(43) 公開日 平成14年3月27日 (2002.3.27)

(51) IntCl ⁷	識別記号	F I	テームト [*] (参考)
G 0 1 N 3/00		G 0 1 N 3/00	K 2 G 0 6 1
3/30		3/30	N
19/00		19/00	A

審査請求 有 請求項の数 6 O L (全 7 頁)

(21) 出願番号 特願2000-275405 (P2000-275405)

(22) 出願日 平成12年9月11日 (2000.9.11)

(71) 出願人 000183233

住友ゴム工業株式会社

兵庫県神戸市中央区脇浜町3丁目6番9号

(72) 発明者 丸岡 清人

兵庫県神戸市中央区脇浜町3丁目6番9号

住友ゴム工業株式会社内

(72) 発明者 西林 純

兵庫県神戸市中央区脇浜町3丁目6番9号

住友ゴム工業株式会社内

(74) 代理人 100072680

弁理士 大和田 和美

Fターム(参考) 2G061 AA13 BA07 BA19 CA10 CC01

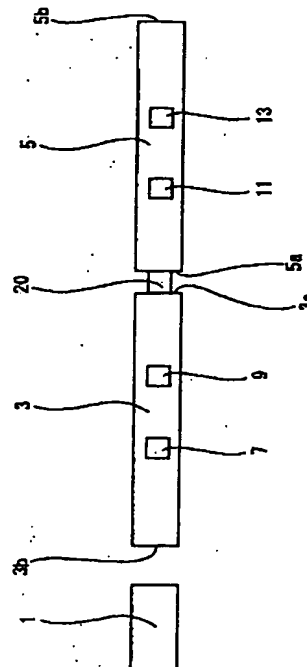
CC11 DA01 EA04

(54) 【発明の名称】 粘弾性特性値測定装置及び粘弾性特性値測定方法

(57) 【要約】

【課題】 特に軟質な試験片であっても、その粘弾性特性値が正確に測定されうる粘弾性特性値測定装置及び粘弾性特性値測定方法を提供する。

【解決手段】 スプリットホプキンソン棒を用いた粘弾性特性値測定装置において、打撃棒1で打撃される入力棒3に第一ひずみゲージ7及び第二ひずみゲージ9を取り付け、試験片20を挟んで接続する出力棒5に第三ひずみゲージ11及び第四ひずみゲージ13を取り付けている。入力棒3の長さを1000mm以上2500mm以下とし、出力棒5の長さを700mm以上2200mm以下とし、入力棒3及び出力棒5中のひずみの伝播速度を1200m/s以上1800m/s以下とする。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 試験片を挟持するため直線上に配置された入力棒及び出力棒と、この入力棒に取り付けられた第一ひずみゲージ及び第二ひずみゲージと、出力棒に取り付けられた第三ひずみゲージ及び第四ひずみゲージとを備え、上記入力棒の前端が打撃された時に入力棒に生じる入射ひずみ波と反射ひずみ波が上記第一ひずみゲージと第二ひずみゲージで測定され、入力棒より試験片を経て出力棒に伝わる透過ひずみ波が上記第三ひずみゲージ及び第四ひずみゲージによって測定される粘弾性特性値測定装置であって、

上記入力棒の長さを1000mm以上2500mm以下、出力棒の長さを700mm以上2200mm以下、入力棒及び出力棒中のひずみの伝播速度を1200m/s以上1800m/s以下としたことを特徴とする粘弾性特性値測定装置。

【請求項2】 上記入力棒及び出力棒が高分子材料から構成されている請求項1に記載の粘弾性特性値測定装置。

【請求項3】 上記第一ひずみゲージが入力棒後端から500mm地点と1100mm地点との間に設けられており、第二ひずみゲージが入力棒後端から250mm地点と750mm地点との間に設けられている請求項1または請求項2に記載の粘弾性特性値測定装置。

【請求項4】 請求項1乃至請求項3のいずれか1項に記載の粘弾性特性値測定装置を用い、入力棒後端と出力棒前端とに試験片を挟持させ、入力棒前端を打撃し、

上記打撃によって生じた入力棒、試験片及び出力棒に伝播するひずみ波のうち、入力棒側の第一ひずみゲージと第二ひずみゲージで入射ひずみ波と反射ひずみ波を測定し、出力棒側の第三ひずみゲージ及び第四ひずみゲージで透過ひずみ波を測定し、

上記各ひずみ波の時刻歴を用いて入力棒後端における入射ひずみ波時刻歴、入力棒後端における反射ひずみ波時刻歴及び出力棒前端における透過ひずみ波時刻歴を推定し、

上記推定された入射ひずみ波時刻歴、反射ひずみ波時刻歴及び透過ひずみ波時刻歴から、試験片のひずみ速度時刻歴、ひずみ時刻歴及び応力時刻歴を算出して、応力-ひずみ曲線を決定し、

上記応力-ひずみ曲線から、ヤング率、損失係数等の粘弾性特性値を算出することを特徴とする粘弾性特性値測定方法。

【請求項5】 上記第一ひずみゲージ、第二ひずみゲージ、第三ひずみゲージ及び第四ひずみゲージによって実測された入射ひずみ波、反射ひずみ波、透過ひずみ波に、ローパスフィルターを用いて10kHz以上の高周波を除去する補正を行っている請求項4に記載の粘弾性特性値測定方法。

【請求項6】 上記試験片の長さが1mm以上5mm以下である請求項4または請求項5に記載の粘弾性特性値測定方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、合成樹脂、架橋ゴム等の粘弾性材料のヤング率、損失係数等の粘弾性特性値を測定するための粘弾性特性値測定装置及び粘弾性特性値測定方法に関し、詳しくは、所謂スプリットホプキンソン棒法が用いられ、特に軟質な粘弾性材料の粘弾性特性値を精度よく測定するものである。

【0002】

【従来の技術】近年、物体が衝撃を受けた場合の変形挙動を解析するのに、実測ではなくシミュレーションが用いられることが多い。シミュレーションでは、ヤング率、損失係数等、物体の粘弾性特性値（パラメータ）の代入が必要である。パラメータは静的パラメータと動的パラメータとに大別されるが、変形挙動は動的なものであるため、この変形挙動に近い状態で測定された動的パラメータが、シミュレーションには有効である。また、シミュレーションに限らず、物体の特性を把握する上でも、動的パラメータの測定は重要である。

【0003】動的パラメータを測定する手段としてスプリットホプキンソン棒測定機が知られており、金属材料の分野等で賞用されている（例えば、昭和63年10月28日、日刊工業新聞社発行の「衝撃工学」第173頁から第183頁参照）。この測定機では、金属製の打撃棒、入力棒及び出力棒が直線上に配置され、入力棒の後端と出力棒の前端との間に試験片が挟持される。入力棒及び出力棒（以下、これら入力棒と出力棒とをまとめて「応力棒」とも称す）には、それぞれひずみゲージが取り付けられる。そして、入力棒の前端に打撃棒が衝突させられる。この際生じたひずみ波は、入力棒から試験片及び出力棒に伝播する。入力棒中をを入力棒後端に向かって進む入射ひずみ波、この入射ひずみ波が入力棒後端から及び試験片通過後試験片後端から反射して前端に向かう反射ひずみ波、及び入力棒から試験片を透過して出力棒の後端へ向かう透過ひずみ波がひずみゲージで測定され、試験片の粘弾性特性値が算出される。なお、以下、入射ひずみ波、反射ひずみ波、透過ひずみ波をまとめて記載する際は「ひずみ波」と略称する。

【0004】この測定機では金属材料の特性値は測定が可能であるが、合成樹脂、架橋ゴム等の高分子材料の粘弾性特性値は測定が困難である。高分子材料が試験片である場合、金属製である応力棒と試験片との特性インピーダンスが大きく異なるため、反射ひずみ波が生じる。そのため、高分子材料の粘弾性特性値の測定には、試験片との特性インピーダンス差が少ない応力棒が選択される必要がある。

【0005】社団法人日本設計工学会中国支部講演論文

集No. 16の第25頁から第29頁には、ポリメチルメタアクリレート製の応力棒が用いられた粘弾性特性値測定装置が、広島大学の中川等によって開示されている。応力棒としてポリメチルメタアクリレート等の高分子材料が用いられることにより、高分子材料の試験片と応力棒とのインピーダンス差が少なくなり、高分子材料の試験片の粘弾性特性値が測定可能となる。

【0006】しかし、高分子材料からなる応力棒では、金属製のものとは異なり、ひずみ波が減衰を伴う。例えば、入力棒中を試験片に向かって進む入射ひずみ波は、入力棒に取り付けられたひずみゲージで測定された後、入力棒後端に至るまでに若干減衰する。従って、入力棒後端における入射ひずみ波を正確に実測することはできない。同様に、入力棒後端から及び試験片通過後試験片後端からそれぞれ入力棒前端に向かって反射される反射ひずみ波、及び試験片後端から出力棒に透過される透過ひずみ波も、正確に測定することができない。

【0007】そこで、中川等によって開示された前述の粘弾性特性値測定装置では、入力棒及び出力棒にそれぞれ2個ずつのひずみゲージが取り付けられることにより、高分子材料からなる応力棒の減衰の問題が解決されている。即ち、2個のひずみゲージで測定された上記入射ひずみ波、反射ひずみ波、透過ひずみ波から伝達関数が導出され、この伝達関数によって入力棒後端における入射ひずみ波、入力棒後端における反射ひずみ波及び出力棒前端における透過ひずみ波の各ひずみ量が推定される。この粘弾性特性値測定装置では、例えば最大ひずみ速度が秒速100から8000、最大変形量が0.1%から30%といった高速大変形時の粘弾性特性値の測定も可能である。

【0008】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、この粘弾性特性値測定装置では、比較的硬質な高分子材料の粘弾性特性値は正確に測定されるが、特に軟質な高分子材料の粘弾性特性値の場合は、測定精度上で問題があるため、誤差が大きくなり、正確な粘弾性特性値を得るのは困難である。この理由として、試験片中のひずみの伝播速度と、その前後の入力棒及び出力棒中のひずみの伝播速度との差が、試験片が軟質になるほど大きくなることが挙げられる。

【0009】即ち、特に軟質な試験片の場合、入力棒にて測定される反射ひずみ波（入力棒後端から及び試験片通過後試験片後端から、それぞれ入力棒前端に向かって反射される反射ひずみ波）が、第2の反射ひずみ波（入力棒後端から前端に向かって反射後入力棒の前端に向かって進んで入力棒の前端で再度反射）と干渉し、上記反射ひずみ波の測定が困難となってしまう。

【0010】詳細に説明すると、試験片が特に軟質である場合、入力棒のひずみゲージで測定される上記した反射ひずみ波のうち、試験片通過後試験片後端から入力棒

前端に向かって反射する反射ひずみ波（以後、第3の反射ひずみ波と称する）の減衰が終了しないうちに、上記第2の反射ひずみ波が出力棒のひずみゲージで測定されてしまい、両者が干渉しあって、第2と第3の反射ひずみ波の正確な測定が困難となってしまう。

【0011】また、特に軟質な試験片の場合、試験片を通過した透過ひずみ波は、試験片を通過することにより、その周期が長くなるため、出力棒にて測定される透過ひずみ波の減衰が終了しないうちに、この透過ひずみ波が出力棒の後端で反射され、ひずみゲージで測定されてしまい、両者が干渉しあって透過ひずみ波の正確な測定が困難となる場合がある。

【0012】本発明は上記した問題に鑑みてなされたものであり、特に軟質な試験片であっても、その粘弾性特性値が正確に測定される粘弾性特性値測定装置及び粘弾性特性値測定方法を提供することを課題としている。

【0013】

【課題を解決するための手段】上記課題を解決するため、本発明は、試験片を挟持するため直線上に配置された入力棒及び出力棒と、この入力棒に取り付けられた第一ひずみゲージ及び第二ひずみゲージと、出力棒に取り付けられた第三ひずみゲージ及び第四ひずみゲージとを備え、上記入力棒の前端が打撃された時に入力棒に生じる入射ひずみ波と反射ひずみ波が上記第一ひずみゲージと第二ひずみゲージで測定され、入力棒より試験片を経て出力棒に伝わる透過ひずみ波が上記第三ひずみゲージ及び第四ひずみゲージによって測定される粘弾性特性値測定装置であって、上記入力棒の長さを1000mm以上2500mm以下、出力棒の長さを700mm以上2200mm以下、入力棒及び出力棒中のひずみの伝播速度を1200m/s以上1800m/s以下としたことを特徴とする粘弾性特性値測定装置を提供している。

【0014】この粘弾性特性値測定装置では、入力棒の長さが1000mm以上であり、入力棒及び出力棒中のひずみの伝播速度が1200m/s以上1800m/s以下であるので、上述した第2の反射ひずみ波（入力棒後端から前端に向かって反射後入力棒の前端に向かって進んで入力棒の前端で再度反射）が、上記第一、第二ひずみゲージに到達するのに時間がかかる。従って、この第2の反射ひずみ波が第一、第二ひずみゲージに到達する前に、上述した第3の反射ひずみ波（試験片通過後試験片後端から、入力棒前端に向かって反射する反射ひずみ波）を、第二、第一ひずみゲージで測定することができ、第3と第2の反射ひずみ波の干渉が抑えられ、第3の反射ひずみ波の正確な測定が可能となる。この観点より、入力棒の長さは1500mm以上が特に好ましい。

【0015】入力棒及び出力棒中のひずみの伝播速度を1200m/s以上1800m/s以下としているのは、ひずみの伝播速度が1200m/s未満となるような材質のものはないことに因り、また、入力棒及び出力

棒中のひずみの伝播速度が 1800 m/s を越えると、試験片中のひずみの伝播速度との差が大きくなり(試験片中のひずみの伝播速度に比べ速くなる)すぎて、入力棒、試験片を通過し試験片後端で入力棒側へ反射した第3の反射ひずみ波が第二、第一ひずみゲージで測定され、その減衰が終了しないうちに、入力棒の後端で反射後入力棒の前端で再度反射した第2の反射ひずみ波が第一、第二ひずみゲージで測定されてしまい、両者(第2と第3の反射ひずみ波)が干渉しあって精度良く解析できないことに因る。また、第3の反射ひずみ波のように、試験片を通過するひずみ波は、試験片の材質によっては、試験片を通過後、ひずみ波の周期が長くなる場合がある。第3の反射ひずみ波の周期が長くなると、それだけ減衰するのに時間がかかるため、上記第2と第3の反射ひずみ波の干渉が起こりやすくなるが、このような場合でも、入力棒及び出力棒中のひずみの伝播速度を上記範囲とすると、第3の反射ひずみ波に対して第2の反射ひずみ波が、遅れて第一、第二ひずみゲージに到達するため、両者の干渉が起こらない。

【0016】入力棒及び出力棒中のひずみの伝播速度は、入力棒及び出力棒の材質のヤング率と比重(あるいは密度)により決定され、入力棒及び出力棒の形状には依存しない。該伝播速度は、ヤング率が大いくと速くなり、また、比重が小さくなると速くなる。該伝播速度の測定は、入力棒に衝撃を与えた際の、入力棒及び出力棒に取り付けた各ひずみゲージ間の距離及び通過時間から算出する。なお、入力棒及び出力棒中のひずみの伝播速度 $C_0(\text{ m/s})$ と、入力棒及び出力棒のヤング率 $E(\text{ N/m}^2)$ 、入力棒及び出力棒の密度 $\rho(\text{ kg/m}^3)$ とは、 $C_0 = (E/\rho)^{1/2}$ の関係にあると定義することができる。

【0017】また、この粘弾性特性値測定装置では、出力棒の長さが 700 mm 以上であるので、透過ひずみ波が出力棒の後端で反射されて、出力棒に取り付けられたひずみゲージに到達するのに時間がかかる。従って、試験片を通過することにより、透過ひずみ波の周期が長くなった場合でも、この透過ひずみ波が出力棒の後端で反射されひずみゲージに到達する前に、試験片から透過した透過ひずみ波をひずみゲージで測定でき(透過ひずみ波の減衰が先に終了している)、干渉が抑えられて、透過ひずみ波の測定が正確となる。この観点より、出力棒の長さは 1500 mm 以上が好ましい。

【0018】この粘弾性特性値測定装置では、入力棒の長さは 2500 mm 以下、出力棒の長さは 2200 mm 以下とされている。これは、入力棒及び出力棒(応力棒)が長すぎると自重によって応力棒に撓みが生じ、応力棒側面が撓むこととなる。撓みはひずみ波にノイズを発生する原因となる。入力棒と出力棒との軸線の一致も困難となり、かえって測定精度が低下してしまうからである。この観点からは、応力棒の長さは 2000 mm 以

下が、さらに好ましい。

【0019】本発明において、入力棒及び出力棒(応力棒)は高分子材料から構成されるのが好ましい。材質としてポリアセタール、ポリエチレン、ポリプロピレンが挙げられる。これにより、合成樹脂、架橋ゴム等の高分子材料からなる試験片と応力棒とのひずみの伝播速度の差が少なくなる。

【0020】本発明において、入力棒に取り付けられる第一ひずみゲージ及び第二ひずみゲージが試験片に近づきすぎると、第一ひずみゲージ及び第二ひずみゲージにおいて、入射ひずみ波の減衰が終了しないうちに第二ひずみゲージ及び第一ひずみゲージで入力棒の後端で反射された反射ひずみ波が測定されてしまい、両者が干渉しあって入射ひずみ波の正確な測定が困難となる。逆に、第一ひずみゲージ及び第二ひずみゲージが試験片から遠ざかりすぎる(すなわち入力棒の前端に近づきすぎる)と、試験片通過後試験片後端から入力棒前端に向かって反射された第3の反射ひずみ波が、入力棒前端に向かって前進して第二、第一ひずみゲージで測定され、その第3の反射ひずみ波の減衰が終了しないうちに、第一ひずみゲージ及び第二ひずみゲージで上記第2の反射ひずみ波が測定されてしまい、両者が干渉しあって第3の反射ひずみ波の正確な測定が困難となる。これらの観点より、第一ひずみゲージは入力棒後端から 500 mm 地点と 1100 mm 地点との間に設けられるのが好ましく、第二ひずみゲージは入力棒後端から 250 mm 地点と 750 mm 地点との間に設けられるのが好ましい。なお、第一ひずみゲージと第二ひずみゲージとの距離が近づきすぎると伝達関数の精度が低下するので、両者は 200 mm 以上の間隔を隔てて取り付けられるのが好ましい。

【0021】この粘弾性特性値測定装置を用いて粘弾性特性値を得るには、まず入力棒後端と出力棒前端とに試験片を挟持させ、入力棒前端を打撃する。すると、打撃によって生じたひずみ波が、入力棒、試験片及び出力棒に伝播する。入力棒側の第一ひずみゲージと第二ひずみゲージで入射ひずみ波と反射ひずみ波(入力棒後端から及び試験片通過後試験片後端から、それぞれ入力棒前端に向かって反射される反射ひずみ波)を測定し、出力棒側の第三ひずみゲージ及び第四ひずみゲージで透過ひずみ波を測定する。次に、上記各ひずみ波の時刻歴を用いて入力棒後端における入射ひずみ波時刻歴、入力棒後端における上記反射ひずみ波時刻歴及び出力棒前端における透過ひずみ波時刻歴を推定する。次に、推定された入射ひずみ波時刻歴、上記反射ひずみ波時刻歴及び透過ひずみ波時刻歴から、試験片のひずみ速度時刻歴、ひずみ時刻歴及び応力時刻歴を算出し、応力-ひずみ曲線を決定する。そして、この応力-ひずみ曲線から、ヤング率、損失係数等の粘弾性特性値を算出する。

【0022】本発明の測定法において実際に各ひずみゲージで測定される波形には、打撃により生じるひずみ波

の他に、打撃によって生じる散乱波が合成されている。ひずみ波の周波数は、1.5 kHzから5.0 kHz程度であるが、散乱波はその周波数が10 kHz以上の高周波である。この高周波はノイズであるので、このノイズを含んだ合成波を用いて応力-ひずみ曲線を描くと、得られる粘弾性特性値の精度が低下してしまう。精度向上のためには、合成波に対して補正を行うのが好ましい。具体的には、第一ひずみゲージ、第二ひずみゲージ、第三ひずみゲージ及び第四ひずみゲージによって実測されたひずみ波（合成波）をローパスフィルターに通し、10 kHz以上の高周波を除去している。

【0023】試験片が軟質であることに起因する入力棒と出力棒との軸ズレを抑えるには、試験片の長さを1 mm以上5 mm以下とするのが好ましい。試験片の長さが上記範囲未満であると、試験片と応力棒との接面における摩擦及び試験片内部での半径方向での慣性力が無視できなくなり、測定誤差が大きくなってしまふことがある。逆に、試験片の長さが上記範囲を超えると、得られるひずみ時刻歴及び応力時刻歴の曲線が凹凸状となってしまうことがある。

【0024】

【発明の実施の形態】以下、本発明の実施形態を図面を参照して説明する。図1は、本発明の一実施形態にかかる粘弾性特性値測定装置が示された模式的正面図である。この粘弾性特性値測定装置は、打撃棒1、入力棒3及び出力棒5を備えている。入力棒3には、第一ひずみゲージ7及び第二ひずみゲージ9が取り付けられている。出力棒5には、第三ひずみゲージ11及び第四ひずみゲージ13が取り付けられている。入力棒3の後端3aと出力棒5の前端5aとの間には、円盤状の試験片20が挟持されている。

【0025】打撃棒1、入力棒3及び出力棒5はポリアセタール製の円柱であり、入力棒3及び出力棒5中のひずみの伝播速度は1450 m/sであり、断面直径は20 mmである。打撃棒1の長さは、100 mmである。入力棒3及び出力棒5の長さは、2000 mmである。第一ひずみゲージ7は入力棒3の後端3aから900 mmの位置に取り付けられており、第二ひずみゲージ9は入力棒3の後端3aから600 mmの位置に取り付けられている。また、第三ひずみゲージ11は出力棒5の前端5aから300 mmの位置に取り付けられており、第四ひずみゲージ13は出力棒5の前端5aから600 mmの位置に取り付けられている。試験片20の長さ（すなわち入力棒3の後端3aと出力棒5の前端5aとの距離）は4 mmであり、試験片20の断面直径は18 mmである。

$$\epsilon' = (C_0/L) \cdot (\epsilon_i - \epsilon_r - \epsilon_t) \quad \text{--- (1)}$$

（数式（1）において、 C_0 は応力棒中のひずみの伝播速度（m/s）を表し、 L は試験片の長さ（m）を表す）

【0026】この粘弾性特性値測定装置によって粘弾性特性値を測定する場合、まず、試験片20の前後両端面を入力棒3の後端3aと出力棒5の前端5aの密接させた状態で入力棒3と出力棒5の間に挟持する。この状態で、打撃棒1を入力棒3の前端3bに衝突させる。これによって、入力棒3に入射ひずみ波が生じ、この入射ひずみ波は入力棒3の後端3aに向かって進む。この入射ひずみ波の一部は、入力棒3の後端3a及び試験片20通過後試験片20の後端から、それぞれ反射し、反射ひずみ波となって入力棒3の前端3bに向かって進む。入射ひずみ波の一部は、入力棒3の後端3aから試験片20を透過し、さらに出力棒5に伝播して透過ひずみ波となり、出力棒5の後端5bに向かって進む。

【0027】入射ひずみ波は、第一ひずみゲージ7及び第二ひずみゲージ9によって実測される。実測された入射ひずみ波はローパスフィルターに通され、10 kHz以上の高周波が除去される。さらに入射ひずみ波の時刻歴は、そのベースライン値をゼロとするゼロ補正が施される。こうして得られた第一ひずみゲージ7及び第二ひずみゲージ9における時間軸ひずみのそれぞれがフーリエ変換され、周波数軸ひずみが求められる。そして、第一ひずみゲージ7及び第二ひずみゲージ9における周波数軸ひずみから、伝達関数が導出される。第一ひずみゲージ7と入力棒3の後端3aとの距離 X_1 と、第二ひずみゲージ9と入力棒3の後端3aとの距離 X_2 との比（ $X_1 : X_2$ ）が考慮されつつ、上記伝達関数に基づいて、入力棒3の後端3aにおける周波数軸ひずみが推定される。この周波数軸ひずみがフーリエ逆変換されることにより、入力棒3の後端3aにおける入射ひずみ波の時間軸ひずみ（ひずみの時刻歴） ϵ_i が得られる。

【0028】同様に、入力棒3の後端3a及び試験片通過後試験片後端で反射して前端3bに向かう反射ひずみ波が第二ひずみゲージ9及び第一ひずみゲージ7によって実測される。この実測された反射ひずみ波から、入力棒3の後端3aにおける反射ひずみ波の時間軸ひずみ（ひずみの時刻歴） ϵ_r が得られる。

【0029】また、出力棒5の第三ひずみゲージ11及び第四ひずみゲージ13によって、試験片20をへて出力棒5に伝播される透過ひずみ波を実測し、この実測した透過ひずみ波から、出力棒5の前端5aにおける透過ひずみ波の時間軸ひずみ（ひずみの時刻歴） ϵ_t が得られる。

【0030】こうして得られた ϵ_i 、 ϵ_r 及び ϵ_t から、下記数式（1）によって、試験片20のひずみ速度 ϵ' が算出される。

【0031】また、 ϵ_i 、 ϵ_r 及び ϵ_t から、下記数式（2）によって試験片20のひずみ ϵ が算出される。

【0032】

$$\varepsilon = (C_0/L) \cdot \int_0^t (\varepsilon_i - \varepsilon_r - \varepsilon_t) dt \quad \text{--- (2)}$$

【0033】(数式(2))において、 C_0 は応力棒中のひずみの伝播速度(m/s)を表し、 L は試験片の長さ(m)を表す)

$$\sigma = (E \cdot A / (2 A_s)) \cdot (\varepsilon_i + \varepsilon_r + \varepsilon_t) \\ = (E \cdot D^2 / (2 (D_s)^2)) \cdot (\varepsilon_i + \varepsilon_r + \varepsilon_t) \quad \text{---}$$

(3)

(数式(3))において、 E は応力棒のヤング率(N/m²)を表し、 A は応力棒の断面積(m²)を表し、 A_s は試験片の断面積(m²)を表し、 D は応力棒の直径(m)を表し、 D_s は試験片の直径(m)を表す)

【0035】図2は、典型的な応力-ひずみ曲線が示されたグラフである。この応力-ひずみ曲線から、下記の

$$\delta = \sin^{-1} ((\sigma_a - \sigma_b) / \sigma_{\max}) \quad \text{--- (5)}$$

そして、この位相角 δ より、損失係数($\tan \delta$)が算出される。

【0037】[実施例] 図1に示された粘弾性特性値測定装置(入力棒と出力棒の長さが共に2000mm)を用い、J A硬度が70の合成樹脂を試験片として、粘弾性特性値の測定を行った。打撃棒の衝突速度は、14 m/sとした。測定は、室温23℃、相対湿度50%の条件下で行った。第一ひずみゲージ、第二ひずみゲージで測定された入射ひずみ波及び反射ひずみ波、第三ひずみゲージ及び第四ひずみゲージで測定された透過ひずみ波が、図3に示されている。入力棒、出力棒の材質は、ポリアセタール(ひずみの伝播速度1450 m/s)とした。

【0038】[比較例] 入力棒、出力棒の材質は、ポリメチルメタクリレート(ひずみの伝播速度2200 m/s)とした以外は、前述と同様の方法にて、粘弾性特性値を測定した。第一ひずみゲージ、第二ひずみゲージ、第三ひずみゲージ及び第四ひずみゲージで測定されたひずみ波が、図4に示されている。

【0039】比較例の測定結果を示す図4では、入力棒・試験片を通過し試験片後端で入力棒側へ反射した第3の反射ひずみ波のピークPsr1と、入力棒の後端で反射後入力棒の前端で再度反射した第2の反射ひずみ波のピークPr r1が第一ひずみゲージで測定されていた。この測定結果を見ると、第3の反射ひずみ波の減衰が終了しないうちに第一ひずみゲージで第2の反射ひずみ波が測定されており、第2と第3の反射ひずみ波の干渉が生じている可能性があることが確認できた。

【0040】これに対し、本発明の実施例の測定結果は図3に示す通りで、応力棒中のひずみの伝播速度を1450 m/sとしているため、入力棒・試験片を通過し試験片後端で入力棒側へ反射した第3の反射ひずみ波のピークPsr1の減衰が完全に終了(ひずみの値が0になる)した後に、入力棒の後端で反射後入力棒の前端で再度反射した第2の反射ひずみ波のピークPr r1が第一

【0034】さらに、 ε_i 、 ε_r 及び ε_t から、下記数式(3)によって試験片20の応力 σ が算出される。

数式(4)を用いて、試験片20のヤング率 E_s が算出される。

$$E_s = \sigma_{\max} / \varepsilon_{\max} \quad \text{--- (4)}$$

【0036】また、図2の応力-ひずみ曲線から、下記の数式(5)を用いて、位相角 δ が算出される。

ひずみゲージで測定されており、第2と第3の反射ひずみ波は干渉していないことが確認できた。また、入力棒及び出力棒の長さも規定範囲内であるため、その他のひずみ波の干渉も起こっておらず、精度良く各ひずみ波を測定できていることが確認できた。

【0041】

【発明の効果】以上の説明より明らかなように、本発明によれば、最大ひずみ速度が秒速100から8000、最大変形量が0.1%から30%の高速大変形時における比較的硬質な高分子材料の粘弾性特性値は、従来のスプリットホプキンソン棒式測定装置により正確に測定できたが、軟質なゴムや樹脂からなる高分子材料ではひずみゲージで検出されるひずみ波が重なって正確に測定できなかった問題点を、本発明のスプリットホプキンソン棒式測定装置によれば、入力棒及び出力棒の長さ及び入力棒及び出力棒中のひずみの伝播速度を規定して、これら入力棒及び出力棒に取り付けたひずみゲージで検出するひずみ波が重ならないようにしているため、正確に粘弾性特性値を測定することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明の一実施形態にかかる粘弾性特性値測定装置が示された模式的正面図である。

【図2】 典型的な応力-ひずみ曲線が示されたグラフである。

【図3】 本発明の実施例にかかる粘弾性特性値測定装置で測定されたひずみ波が示されたグラフである。

【図4】 本発明の比較例にかかる粘弾性特性値測定装置で測定されたひずみ波が示されたグラフである。

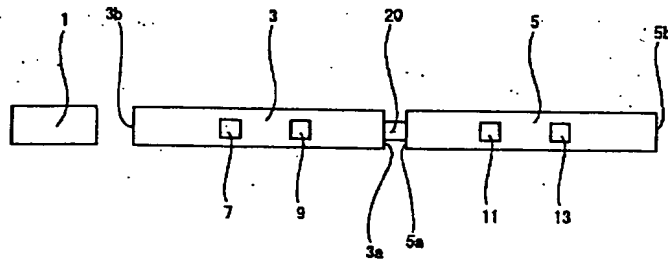
【符号の説明】

- 1 打撃棒
- 3 入力棒
- 5 出力棒
- 7 第一ひずみゲージ
- 9 第二ひずみゲージ
- 11 第三ひずみゲージ

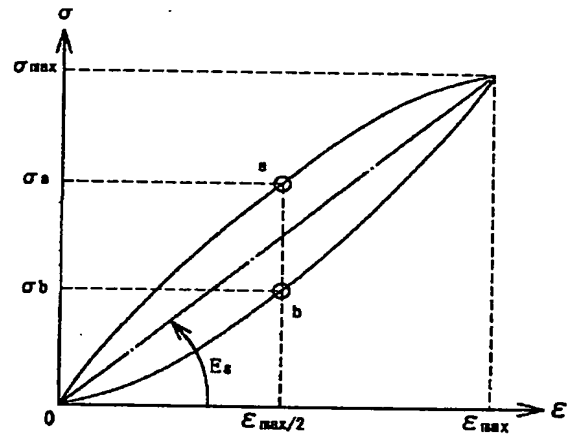
13 第四ひずみゲージ

20 試験片

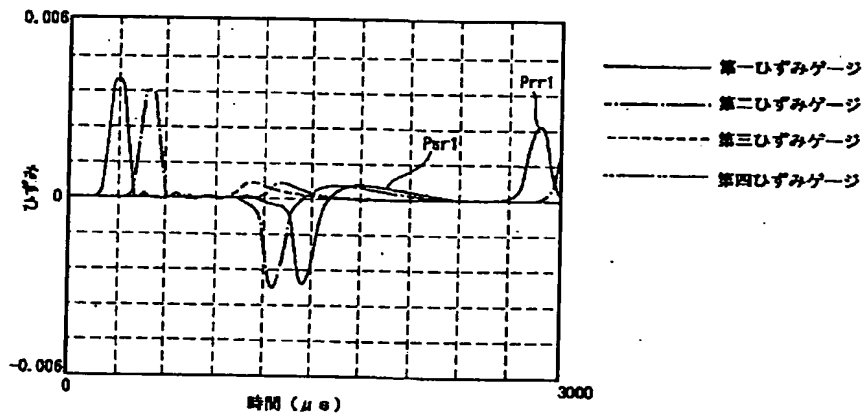
【図1】



【図2】



【図3】



【図4】

